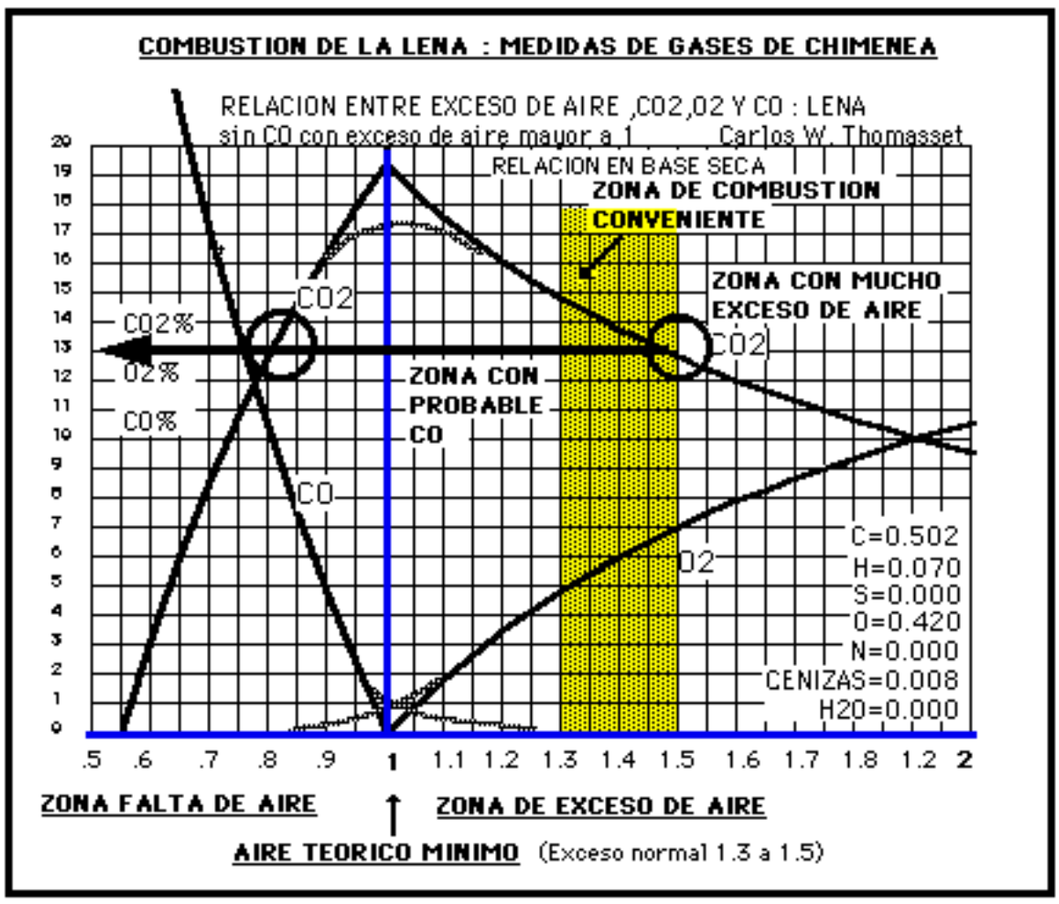
## INSTRUMENTOS PARA EL CONTROL DE LA COMBUSTIÓN

**Debemos ser muy cuidadosos con los instrumentos que usaremos en la medición de los gases de combustión de leña, estos gases tienen una serie de elementos "contaminantes" (cuando queman mal) para los instrumentos comunes que usamos en gases y líquidos. Estos elementos son ácidos piroleñosos, alquitranes, etc. que "estropean" el instrumento al medir los gases de leña en unas pocas mediciones, por lo que hay que asegurarse que sean instrumentos aptos para combustiones de celulósicos.**

**Generalmente los instrumentos antiguos de absorción como el ORSAT, el Firyte® , MONOXOR® y otros con el mismo principio de funcionamiento, se pueden usar manteniendo los equipos en condiciones (no así los instrumentos electrónicos y eléctricos comunes que se "envenenan" sus celdas de medición). Generalmente los instrumentos aptos para combustibles celulósicos trabajan con sus celdas de medición a altas temperaturas (celdas de zirconio, otras para medir "gases no quemados" por inducción a alta temperatura, etc.). Esto es muy importante.**

El control del resultado de la combustión, como lo vimos en su manejo, **en la "quema directa" de leña es manejable por observación de la llama** (recordar que no hay humos), pero **en la "quema por gasógenos" la llama no es muy observable, por lo que es aconsejable medir el resultado de la combustión** (gases no quemados o CO, exceso de aire, CO2% u/y O2%). **Pero aconsejamos hacer mediciones en ambos.**

**Como vemos en el gráfico inferior,** midiendo solo el CO2% se puede cometer el error de estar en una zona de falta de aire (ocurre lo mismo con la quema de gases, como el gas natural y la leña que gasifica), **como no hay humos observables** (o llamas muy notorias), **que estemos con falta de aire** (en el el ejemplo del gráfico estamos midiendo 13% de CO2, pero no tenemos la seguridad que hay suficiente oxígeno para la quema total, ya que vemos que podemos tener 13%CO2 tanto del lado de falta de aire como de exceso de aire, **este error de medición, por falta de datos, puede que estemos en un zona que se puedan provocar pérdidas muy grandes por "gases no quemados"** (he encontrado pérdidas hasta del 35% por este concepto)**.** En la "quema directa" esto se puede observar por el largo de la llama, pero en la "quema por gasógeno", la llama como no se ve con claridad, por lo que se hace necesario que si medimos solo CO2 debemos medir "gases no quemados", o CO u O2 (aunque aún habiendo O2, oxígeno sobrante, no es un seguro de que la combustión sea completa).

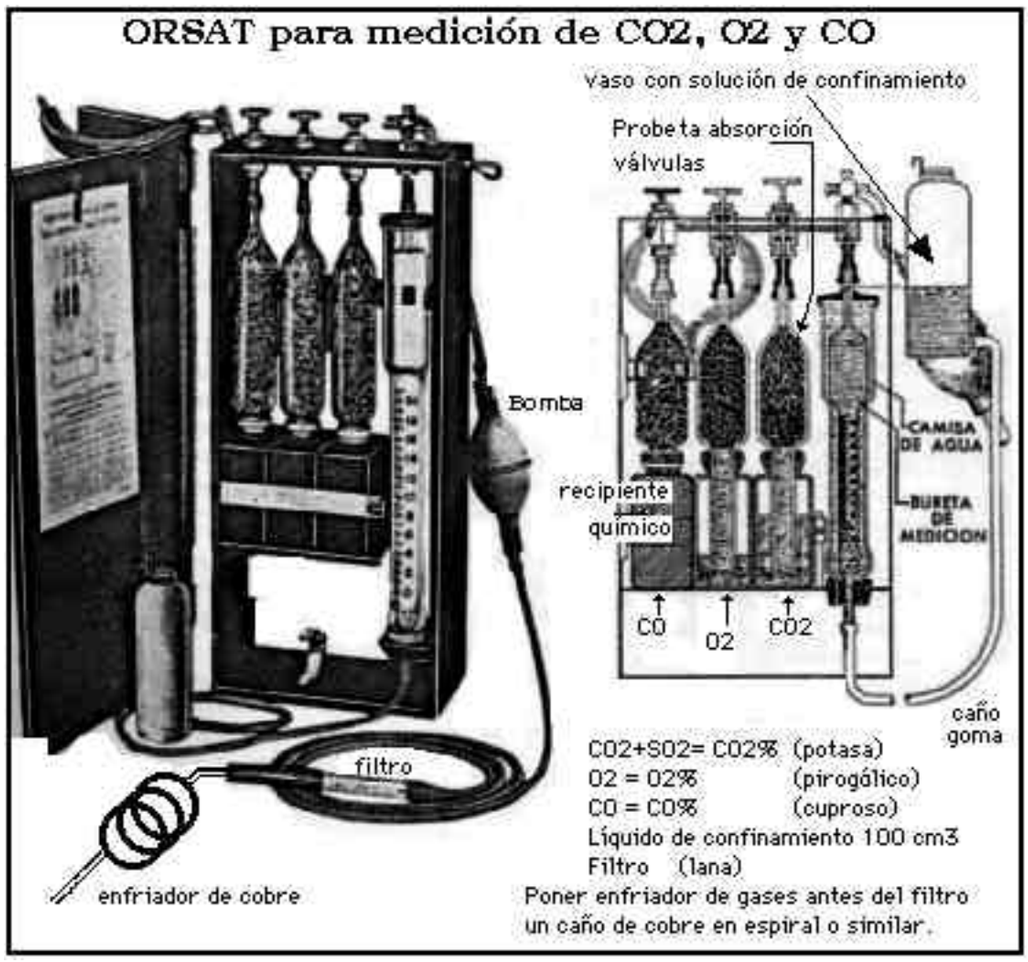



Para medir la composición los gases de chimenea, se pueden utilizar equipos electrónicos sofisticados, pero en un País alejado de los centros de tecnología de estos equipos, a veces es convenientes la utilización de equipos menos sofisticados, que podamos "reparar" y mantener a bajo costo. **Pero el verdadero problema de medir los gases de combustión de leña, es que estos gases están contaminados con "alquitranes", en general "envenenan" las celdas electrónicas de medición** (celdas electroquímicas), **salvo las que trabajan a temperaturas que puedan quemar dichos "alquitranes"** (como sucede con las celdas de medición de zirconio o por "inducción" que trabajan a altas temperaturas y queman los "alquitranes"). **Por lo que los sistemas de absorción química son los más aptos** (porque a lo sumo habrá que lavar los filtros o cambiar los absorbentes, luego de lavar los recipientes). **Estos equipos absorción como el ORSAT (y otros) de absorción miden el % de un gas en relación seca** (con el vapor de agua eliminado al establecer la relación, ya que al ir eliminando cada gas medido se elimina una proporción equivalente del vapor de agua).Las celdas inmersas en el gas miden en base húmeda.

Los equipos electrónicos miden con una cierta humedad si los gases son enfriados a la temperatura ambiente, el agua queda en los filtros, manteniendo un vapor de agua restante relación a la temperatura de la muestra en la celda (pudiendo ser el 100% de humedad relativa, por lo que si hay que expresarlo a una relación en base seca hay que recurrir a una corrección a estas condiciones, ya que el vapor de agua ocupa un % del gas, cuyo valor al corregir no afecta demasiado, ya que la mayor parte del agua de los gases ha condensado).

**El más antiguo de estos equipos se llama ORSAT** y mide en los gases de chimenea los tres elementos fundamentales, CO2, O2 y CO, en relación seca.

Veamos como es y como funciona en forma elemental.




**EL ORSAT**, es un aparato muy "antiguo", pero todavía útil para **medición de gases de combustión** (especialmente en leña), ya que si bien su medida no es de muy alta precisión, su lectura es relativamente segura si se usa en combinación con un triángulo de OSTWALD. Su funcionamiento se basa en tomar una muestra preenfriada, a través de un filtro de lana, aspirado por una bomba de goma (tipo "peluquero"), la muestra es empujada a través de una bureta de medición graduada en de 100 cm3 (que está sumergida en otro recipiente lleno de agua para mantener la temperatura de la muestra lo más estable), el gas impulsado se hace escapar a través de un vaso lleno de un líquido de "confinamiento" (líquido que no absorbe los gases y que nos permitirá subiendo o bajando el vaso, impulsar o aspirar el gas a través de los distintos líquidos de absorción). Una vez que pasó suficiente gas de chimenea por la bureta de medición (como haciendo un lavado con gases para asegurarnos su constitución original), maniobramos las válvula de entrada y escape a la atmósfera, de manera de que con el vaso enrasamos el cero (**0** equivalente a **100 cm3** de muestra, enrasando a igual nivel la superficie del líquido de confinamiento en la bureta y en el vaso, de manera de no comprimir o expandir la muestra de gas) de la bureta. Antes de hacer esta maniobra de "atrapar" 100 cm3 de gas, debemos de enrasar todos los líquidos de absorción en cada cámara de absorción (en donde están los **rellenos,** tubitos de vidrio o virutas o alambres de cobre, que se empapan del líquido de absorción para poder absorber selectivamente cada gas; esté llena hasta la marca que tiene en el cuello más fino). Luego empujaremos el gas para que entre totalmente en la primera cámara de absorción (para absorber el CO2 y SO2, anhídrido carbónico y anhídrido sulfuroso, que es absorbido por una solución fuerte de potasa), repetimos la maniobra de empujar y volver el gas a la bureta de medición tantas veces como sea necesario para que en la bureta de medición la lectura sea constante (cuidando de volver el líquido absorbente a la misma marca de enrase en su recipiente, ya que cada cámara de absorción descarga el líquido a un recipiente sellado a la atmósfera por un globo para que no entre en contacto con el aire, el líquido de absorción tiene unos 100 cm3.). **Luego, con la lectura constante, la lectura de cada 1 cm3 o 1 ml. será el % de CO2%** (para hacer esta lectura enrasar los niveles de la bureta y del vaso, cuidando el efecto de los "meniscos" del líquido de confinamiento en ambos sean iguales).

**Aquí el gas restante será menor a 100 cm3** (dado que pierde el CO2 y O2, podría además perder algún gas ácido). **La lectura será en base seca** (gases secos). Ahora **absorberemos el O2** (utilizando para ello como absorbente al ácido pirogálico, un derivado de la madera, que no debe estar en contacto con la atmósfera, porque sino pierde efectividad debido a la presencia del O2 del aire). **Una vez absorbido el O2, la medida en la bureta será el faltante del CO2+SO2+O2, por lo que el O2% será la diferencia entre esta lectura y la anterior del CO2%.** Luego absorberemos el **CO** (para ello usaremos una solución con cloruro cuproso), **la lectura de esta medida será el CO2+SO2+O2+CO, por lo que el CO% será esta lectura menos la anterior.**

Los líquidos de absorción deben ser preparados en la medida que se observen problemas de absorción ( hay que repetir la maniobra muchas veces para absorber, ya la coloración y la viscosidad dan una idea de que hay una cambio en los mismos, especialmente en el pirogálico y el cuproso, teniendo en cuenta que el **cuproso es venenoso**).

**Soluciones para utilizar con el ORSAT para la absorción de los gases.**

GASES DE CHIMENEA:

Se ponen, sucesivamente, en contacto 100 partes de gases de chimenea con absorbentes, los cuales absorben CO2, O2 y CO. La reducción en volumen, después de la absorción, da directamente el contenido de estos gases en volumen. Los gases restantes son N2.

1- Sello de Líquido. (solución de confinamiento).

Se disuelven 35.9 g. de sal común (NaCl) en 100 ml de agua destilada. Esta solución se acidifica con un poco de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico y se tiñe con naranja de metilo.

2- Solución de absorción de dióxido de carbono (CO2)

Se disuelven 27 partes en peso de hidróxido de potasio PPA (KOH) en 73 partes en peso de agua destilada. (Solución al 27% de hidróxido de potasio, densidad = 1,37 Kg/l)

3- Solución de absorción de oxígeno. (O2)

Solución alcalina de pirogalol.

Se disuelven 22.5 partes en peso de potasa (KOH) y 15 partes en peso de pirogalol en 26,25 partes en peso de agua.

4-Solución de absorción de monóxido de carbono. (CO)

Solución amoniacal de cloruro cuproso.

Solución madre:

Se disuelve 1 parte en peso de cloruro de amonio (NH4Cl) en 3 partes en peso de agua destilada y se agrega 0,8 partes en peso de cloruro cuproso (CL2CL2) en ausencia de aire.

Antes de usar esta solución en el Orsat, se debe colocar una parte en volumen de solución de hidróxido de amonio (NH4OH) en el frasco de absorción y se le deben agregar 3 partes en volumen de la solución madre.

OTRO:

1-Solución de absorción de dióxido de carbono (CO2)

Solución de potasa (KOH) al 33% . Preparación 513 g. de KOH más 805 ml de agua destilada.

2-Solución para absorber oxígeno. (O2)

Solución 1: 891 g. de KOH, 625 ml de agua destilada.

Solución 2 : 15 g. de pirogalol, 25 ml. de agua destilada caliente.

Mezclar 140 ml. de solución 1 con toda la solución 2. TAPAR INMEDIATAMENTE.

3- Solución para absorber el monóxido de carbono. (CO)

Para absorber monóxido de carbono (CO) y oxígeno.

Solución madre : Hacer solución con 35 g. de cloruro de amonio en 100 ml de agua destilada. Una vez disuelto agregar 26 g. de cloruro cuproso (Cu2Cl2)(conviene lejos del aire). Se guarda en un frasco añadiendo virutas de cobre.

Para usar mezclar un volumen de amoníaco (NH4OH) densidad 0,91 g/ml con 3 volúmenes de solución madre. Se colocan espirales de cobre hasta la superficie libre del líquido. Absorbe hasta 16 ml de CO por ml de solución.

4-Solución de confinamiento.

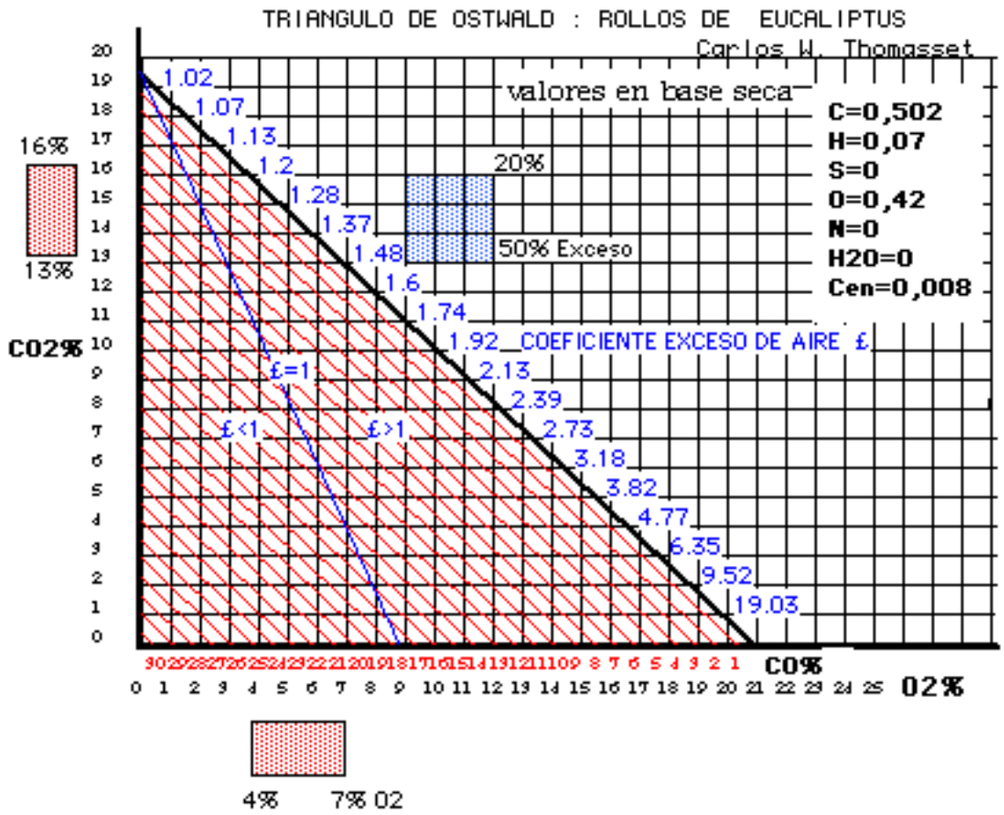
Solución preparada con : 142 g de sulfato de sodio anhidro (Na2SO4, anh.) 30 g de ácido sulfúrico (H2SO4 de ácido con densidad 1,84 g/ml y 965 ml de agua. Agregar Heliantina (Naranja de metilo) para colorear.

**Luego para una mejor utilización de ORSAT y su interpretación**, conviene utilizar un diagrama de OSTWALD, ya que si bien podemos saber el exceso de aire **por medio de una fórmula en la que intervienen los 3 elementos medidos (CO2%,O2% y CO%, ver abajo) sin necesidad de conocer la composición del combustible**, cosa que para trazar el triángulo de OSTWALD es necesario conocer su composición (no olvidar que el triángulo de OSTWALD es la relación de l**os gases de combustión en relación seca** o sea con el vapor de agua condensada).

$$£(ex.aire)=\frac{(1-CO2-O2-CO)}{(1-CO2-1,5\,CO-((O2-0,5\,CO)/0,21))}$$

valores en base seca

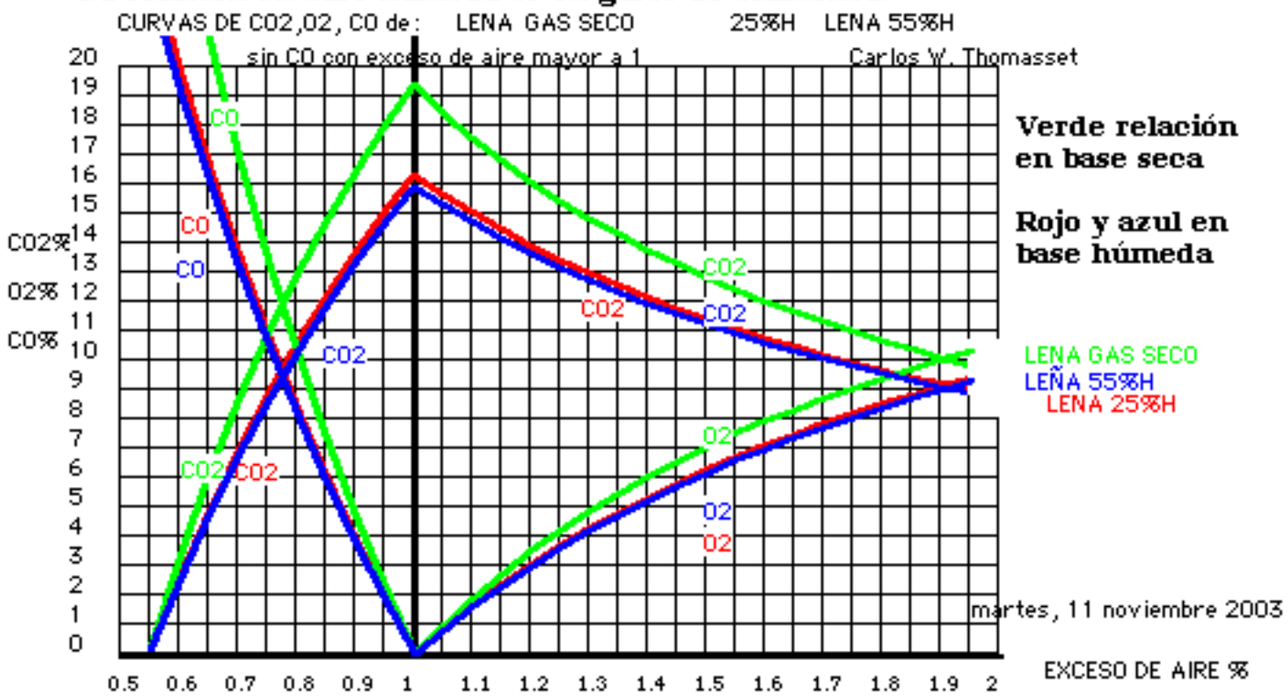
**EL triángulo de OSTWALD es fundamental para interpretar la combustión, tanto en leña como en gases.**



## Veamos la incidencia en una gráfica entre la relación medida en base “seca” y base “húmeda”.

La gráfica siguiente, muestra la diferencia entre la medición de los gases en base “seca” y en base “húmeda” (o sea como están en la chimenea). Hay que tener cuidado para la interpretación de los instrumentos a utilizar para medir, desde que si no medimos el CO o los “gases sin quemar” y no tenemos seguridad de que su presencia no ocurre, la medida pierde valor, ya que no es lo mismo la interpretación del exceso de aire con combustión completa que la que se produce con combustión incompleta. También en esta interpretación hay que considerar en que relación miden los instrumentos, en base “seca” o en base “húmeda” (dado que por muchos años como las mediciones se hacían por absorción (Firite, ORSAT, etc.) y por gases enfriados, por lo general la idea es interpretar como que la medida es en base “seca”, pero con la nueva generación de instrumentos esto ha cambiado, ya que hay muchos instrumentos actuales (especialmente los fijos en chimenea, como las celdas de zirconio para medir oxígeno) miden en base “húmeda”. Pero si observamos cuando decimos oxígeno O2% igual a 4% en base “seca” veremos que el valor en base “húmeda” (ambos con el mismo exceso de aire) dan valores diferentes, como en el caso de la leña que aún varía más al variar el % de humedad. Por lo general el % de O2 en base “seca” (para la misma lectura de % O2) da un valor menor que el correspondiente que en base “húmeda" de exceso de aire (es decir que cuando yo trabajo en "base seca" con un exceso de aire representado por 5% de O2, debo para mantener el mismo exceso de aire trabajar en "base húmeda" con un 4% de O2).

**La relación en base húmeda es en gases de chimenea.**


CURVAS DE CO2,O2, CO de: LENA GAS SECO 25%H LENA 55%H
sin CO con exceso de aire mayor a 1
Carlos W. Thomasset
Verde relación en base seca
Rojo y azul en base húmeda
LENA GAS SECO
LEÑA 55%H
LENA 25%H
CO2%
O2%
CO%
martes, 11 noviembre 2003
EXCESO DE AIRE %

Veremos que cuanto mayor sea el % de humedad o el contenido de hidrógeno de un combustible, más se tienden a separar las gráficas de las medidas de gases (CO2, O2, CO, etc.) ente las correspondientes a “base seca” (absorción: Fyrite, ORSAT, etc.) y las medidas directo en la chimenea (con el vapor de agua en los gases: como las celdas de zirconio para O2, la medidas de gases sin quemar por “inducción”, etc.) o las medidas con el gas enfriado a “ambiente” en celdas electroquímicas o “puentes de resistencias” tipo Weston de “celdas catalíticas”, etc.

**Sin embargo en el caso de la leña, cuyo % de humedad hace variar la lectura del % de los gases en "base húmeda" en los gases de chimenea respecto a los % en "base seca", veremos que la variación de la lectura con 25% H.b.h. y las humedades más altas como el 55% H.b.h, no difieren demasiado, ya que el agua que forma la leña (hidrógeno-H-combinado, tiene mayor incidencia que la propia humedad que en forma de agua que trae la leña, o sea entre leña seca y la leña húmeda, tiene un variación en la lectura en "base húmeda" de poca incidencia al aumentar de 25 %H.b.h. a 55% H.b.h.** (esto se puede pensar debido a que cada átomo de hidrógeno que contiene la leña (cada átomo de hidrógeno forma 9 veces su peso en agua, podemos calcular en 100 Kg.de combustible de leña y con un aire con 60% H.r. que el agua total con 25% H.b.h, de la leña es de 4,49 moles de agua (H2O) y con 55% H.b.h. es de 4.91 moles de agua, cuando con la leña seca sin nada de agua como humedad es de 4,13 moles de agua).

**Pero de todas maneras cuando midamos el exceso de aire con instrumentos de lectura en base húmeda (inmersos en los gases de chimenea), que la lectura por ejemplo del oxígeno (O2%) dará un valor más bajo, es decir que si queremos trabajar con un exceso de aire con un oxígeno correspondiente en "base seca" a 5%, si el instrumento mide en "base húmeda" la lectura equivalente será aprox. 4%** (no debemos confundir a los instrumentos que miden a temperaturas ambiente como las celdas electroquímicas, estos dan la medida con una humedad correspondiente a la saturación a esa temperatura ambiente (de la celda), es decir que se a condensado gran parte del agua y su lectura será casi igual a la de "base seca").

## EL TRIANGULO DE OSTWALD

Este gráfico, es un sistema visual de ver el resultado de la combustión, está trazado en % de volumen de los gases secos y se usa de la siguiente manera:

Es un triángulo formado por el cateto vertical (ordenadas) por el **CO2% de cada combustible en particular** (cada triángulo solo es válido para cada combustible, ya que su trazado responde a la composición química del combustible y de la atmósfera terrestre al nivel del mar, y con los **gases secos**), **en la cual el CO2% corresponde a la suma de CO2% + SO2%** (dado que ambos elementos necesitan en volumen o molarmente la misma cantidad de oxígeno y como los instrumentos de absorción absorberán a los dos, además la incidencia del SO2%, anhídrido sulfuroso es por lo general bajo), **o sea que el valor máximo será el máximo CO2% del combustible** (la suma CO2%+SO2%, cuando el aire necesario corresponde al mínimo o estequiométrico, con combustión completa). **Este CO2% máximo será mayor a medida que la relación hidrógeno/carbono disminuye** (H/C) o sea que el combustible tenga más carbono en relación al hidrógeno.

**En el cateto horizontal** (abscisas), **se traza el % de O2** (oxígeno atmosférico, aprox. 21% en volumen) **hasta 21 %.**

**La hipotenusa será el punto de intercepción de la combustión completa, en donde se unen los valores correspondientes a cada determinado valor de CO2% y O2%, indicándose a partir de 0% de exceso** (aire mínimo o estequiométrico, que no sobra el O2, es 0% y el CO2% es el máximo), pasando por todos los valores hasta el infinito exceso de aire (∞), **cuando el O2% es 21% o máximo, valor que solo se dá en la realidad cuando no hay combustión.**

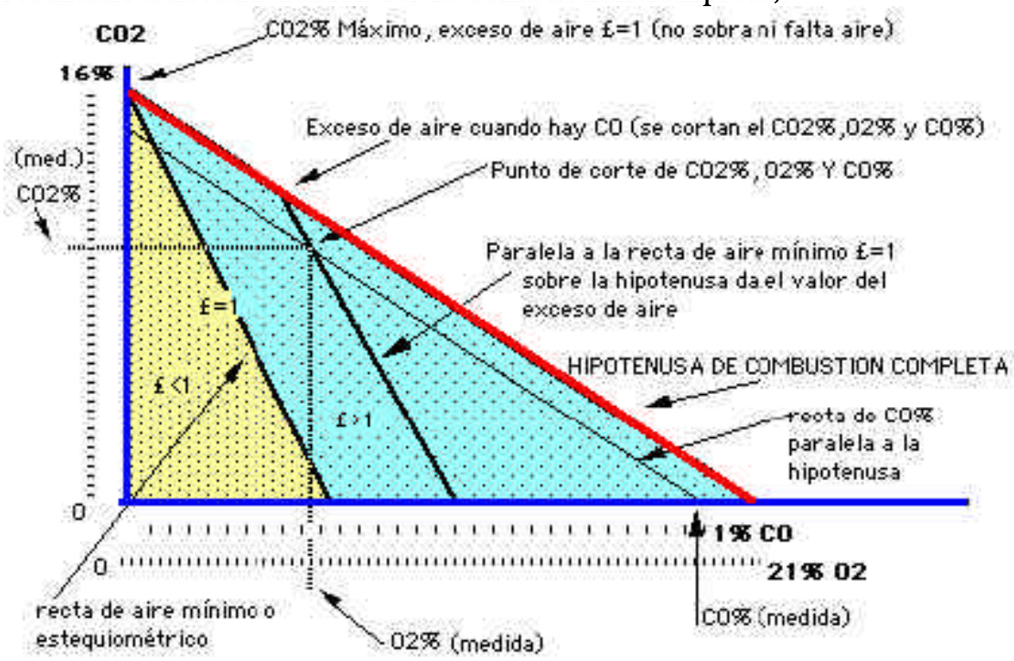
**Paralelo a la hipotenusa, se trazan los valores de cada % de CO** (monóxido de carbono), siendo el **máximo CO se produce cuando el CO2% es 0 y el O2% es 0.** Este valor máximo del CO es diferente para cada combustible, al igual lo que ocurre con el CO2%, siendo el valor mayor a medida que disminuye la relación hidrógeno/carbono (H/C), es decir, cuanto más carbono tenga el combustible (siendo máximo en los carbones y celulósicos, disminuyendo un poco en el F.Oíl, otro poco a medida que los combustibles líquidos tienen menos densidad, bajando aún más en los gases orgánicos, como en el gas natural, etc).

**Cuando no se dá que las medidas de CO2% y el O2% coincidan en la hipotenusa** (combustión completa), **el punto de intersección será sobre una zona en que habrá mala combustión o sea, que hay un % de CO.** Por lo general las lecturas no cierran en punto, sino en un triángulo (cuyos vértices serán CO2-O2 , CO2-CO y O2-CO), en este caso se tomará como punto el centro de gravedad del triángulo, o sea, la intersección de las mediatrices de los lados.

**Para saber el exceso de aire** (£) **correspondiente a dicho punto, debemos de trazar primero una recta que indican los puntos del exceso de aire £ = 1** (exceso de aire igual a 1, aire mínimo, o estequiométrico o sea, que no sobra ni falta aire). **Esta recta va en el punto de intersección del CO2% máximo y O2% = 0, siendo el otro punto el O2% correspondiente al CO2% = 0 cuando el aire es el mínimo** (estequiométrico). **Una vez trazada esta recta, se dividirá el triángulo en 3 zonas, a-la de la menor valor en abscisas , falta el aire, b-sobre la recta, aire mínimo, c-sobre los valores mayores de O2% a partir de la recta, será la zona de exceso de aire** (sobra el aire).

**A partir de paralelas a esta recta, del lado derecho o donde sobra el aire, la intercepción de dichas paralelas con la hipotenusa, darán el exceso de aire correspondiente al punto interior al triángulo.**

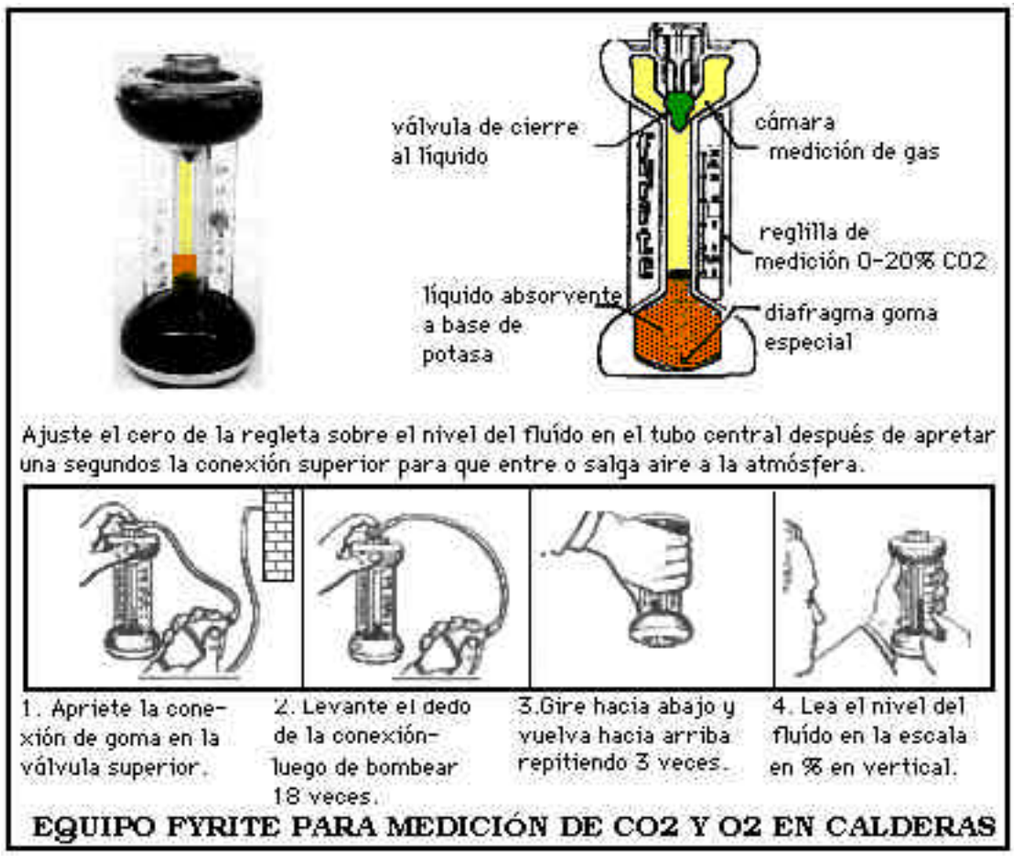
**Como se ve, este triángulo, da todas las posibilidades de combustión** (aunque se puede trazar un triángulo "corregido" a los valores de CO%, ya que se ha detectado que cuando hay CO, también hay gases combustibles como el hidrógeno sin quemar, aunque, consideramos que a fines prácticos, estos triángulos teóricos son suficientes, ya que el resultado buscado deberá ser la combustión completa).


CO2
CO2% Máximo, exceso de aire £=1 (no sobra ni falta aire)
16%
Exceso de aire cuando hay CO (se cortan el CO2%,O2% y CO%)
(med.)
CO2%
Punto de corte de CO2%, O2% Y CO%
Paralela a la recta de aire mínimo £=1 sobre la hipotenusa da el valor del exceso de aire
£=1
£<1
£>1
HIPOTENUSA DE COMBUSTION COMPLETA
recta de CO% paralela a la hipotenusa
0
1% CO
0
21% O2
recta de aire mínimo o estequiométrico
O2% (medida)
CO% (medida)

**El croquis anterior, indica los parámetros más importantes en el triángulo de OSTWALD.** Recordar que a la derecha del la recta de aire mínimo o estequiométrico ( £=1), sobrará el aire. Si al medir, hay CO no es por falta de aire, sino que solamente hay mala combustión, los valores de CO2% y O2%, caerán en la zona de £>1 (exceso de aire mayor a 1) y si medimos el CO%, este dará un valor, que crece desde la hipotenusa hacia el interior del triángulo, siendo el mayor valor de CO%, el punto de intersección en que el CO2% y el O2% son igual a cero (0%). Este valor de CO máximo, será de un valor mayor en aquellos combustibles con menor relación de H/C (menor cantidad de hidrógeno respecto al carbono).

Dado que el ORSAT es poco práctico, se necesita un manejo casi de laboratorio para su utilización (aunque es excelente para un técnico dedicado a la combustión de leña).

**Un instrumento muy práctico, del tipo de absorción, es el FYRITE®** (instrumento de la BACHARACH de U.S.A, inventado hace muchos años), para medir **CO2%** u **O2%** (aunque este último es un poco problemático el manejo del líquido de absorción, no así el medidor de CO2% que se trata de potasa cáustica calibrada a un determinada concentración) veamos su funcionamiento:


válvula de cierre al líquido
cámara medición de gas
reglilla de medición 0-20% CO2
líquido absorvente a base de potasa
diafragma goma especial
Ajuste el cero de la regleta sobre el nivel del fluído en el tubo central después de apretar una segundos la conexión superior para que entre o salga aire a la atmósfera.
1. Apriete la conexión de goma en la válvula superior.
2. Levante el dedo de la conexión- luego de bombear 18 veces.
3.Gire hacia abajo y vuelva hacia arriba repitiendo 3 veces.
4. Lea el nivel del fluído en la escala en % en vertical.
EQUIPO FYRITE PARA MEDICIÓN DE CO2 Y O2 EN CALDERAS

**El FYRITE®** (Bacharach) es un equipo del tipo de absorción química, para la medida del CO2 , habiendo similares para O2.

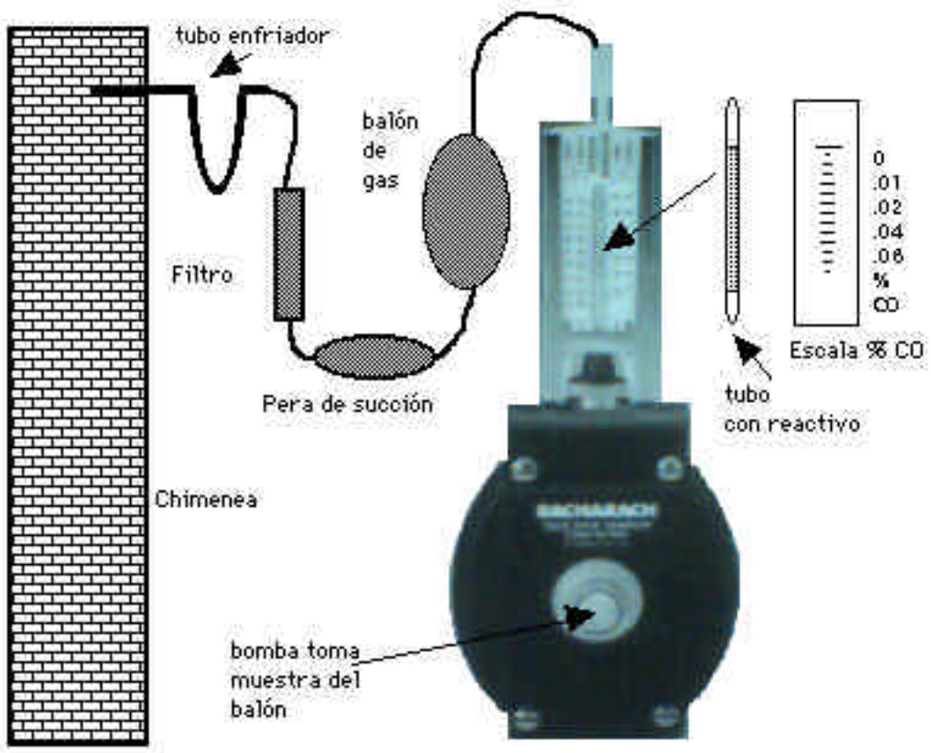
En el caso del **CO2** (anhídrido carbónico), se utiliza **hidróxido de potasio** (KOH) como absorbente, a una determinada concentración (este absorbe a la suma de CO2+SO2, siendo por lo general muy baja la incidencia del SO2%). La medición es una medida en una columna hidráulica (tubo con gas y líquido) que será sometido al peso de la solución y a la presión de la misma al absorber el CO2, y por medio de una membrana a la presión atmosférica en la parte inferior de la cámara del líquido (previa calibración a 0%, al comunicar el interior del equipo con la atmósfera y luego ajustar la reglilla a cero 0%). Una vez mezclado el gas de muestreo atrapado en la cámara superior con la potasa, el CO2 se absorbe químicamente, lo que hace disminuir la presión interior, la presión atmosférica empuja el diafragma hasta el equilibrio, en donde al leer el nivel que sube por el tubo central puesto vertical, dará la lectura del CO2% . El medidor de O2, será similar en la operación, aunque el elemento absorbente, será otro **producto químico selectivo**, o sea que solo actúa con el O2 (el problema con el medidor del O2 es que ante cualquier penetración de aire, cuando el equipo está en reposo-guardado- se agota el líquido, cosa que no ocurre con la potasa).

Estos equipos tienen la gran ventaja de la simplicidad y la facilidad de su mantenimiento (o reparación), su error, si bien puede ser de hasta 0,5%, su precisión es suficiente para el ajuste de la combustión en la calderas más comunes .

**Recordar que estos equipos miden los gases en relación seca** (considera el agua en los gases de chimenea como ausentes o sea, condensada).

## La gran ventaja del FYRITE, es lo simple de su utilización y mantenimiento.

El caso de medir el CO (monóxido de carbono), **que en la combustión de leña es fundamental**, existen elementos de absorción, pero su funcionamiento es diferente al FYRITE®, se trata del MONOXOR® (también de BACHARACH de U.S.A), veamos como funciona.




INDICADOR DE MONOXIDO (MONOXOR BACHARACH)

Como hemos dicho, la medida del monóxido de carbono (CO) en la combustión a leña es muy importante, tanto como para evitar la contaminación atmosférica como desde el punto de vista económico. Como en la combustión de leña no tendremos humos, será importante hacer esta medición. Para medir el CO hay varios instrumentos, puede ser un **ORSAT** (que mide CO2, O2 y CO), puede ser **un instrumento eléctrico/electrónico** o puede ser un instrumento sencillo como el **MONOXOR® de BACHARACH.** El **MONOXOR®** para medir el **CO,** se basa en hacer pasar una cantidad medida del gas de chimenea, que se almacena previamente en un balón de goma (que se llena con gas de chimenea a través de un enfriador y un filtro, impulsado con una pera de goma que hace de bomba). Este gas del balón se hace pasar por un "tubito" que se encuentra lleno de una sustancia como "arenosa" de color amarillo, que al pasar una determinada cantidad de gas succionado por una bomba del propio Monoxor®, si el gas tiene CO hace cambiar el color amarillo a un color oscuro. Será mayor el largo del cambio de color del tubito a medida que el % de CO lo sea, en una escala estará indicando el % de CO (luego de usar una vez, si el tubito no se ha oscurecido más de la mitad, el tubito se puede invertir y usar una vez más en ese momento). **Por lo general cuando se quema gas** (en leña es mayor en el momento de terminar la carga de leña) **no se debe tener un CO mayor al 0,04% de CO. Lamentablemente estos aparatos están con su fabricación discontinuada, aunque hay en uso todavía.**

## PERDIDAS EN LAS CALDERAS DEBIDO CONDICIONES OPERATIVAS.

### 1-Pérdidas debido a las válvulas de seguridad en calderas de leña.

En las calderas a leña, la presión de corte (alta presión) se hace cerrando los aires de combustión (bajo grilla) y los tiros inducidos (ventiladores de tiro en chimenea) y eventualmente cerrando algún aire secundario o terciario. **Muchas veces, la inercia operativa o la ineficiencia en el cierre de los aires y tiros, hace que la válvulas de seguridad se "disparen". Por lo general esto no debe ocurrir en combustibles líquidos y gaseosos que existan presóstato de comando de la presión y el corte de los combustibles, cosa que en la leña el combustible no se puede cortar, está en el interior del hogar.** Como todos sabemos, las válvulas de seguridad de calderas, tienen **una apertura total al llegar a la presión a lo cual están ajustadas** (efecto "pop"), **cerrando luego de que la presión haya bajado por debajo de la presión de apertura, una presión diferencial** (efecto "blowdown"), **esto significa que la caldera debe de bajar la presión : tirando una cantidad importante de vapor** (este efecto de cierre diferencial por debajo de la presión de apertura, por lo general, es una caída de presión, que si no se ajusta, es de más de 2 Kg/cm2), **en muchos casos, se llega a tirar más 1000 Kg. vapor o más si las válvulas tienen un gran diferencial de cierre, dependiendo del tamaño de la caldera** (debido a que las válvulas están en una dimensión correspondiente)**.**

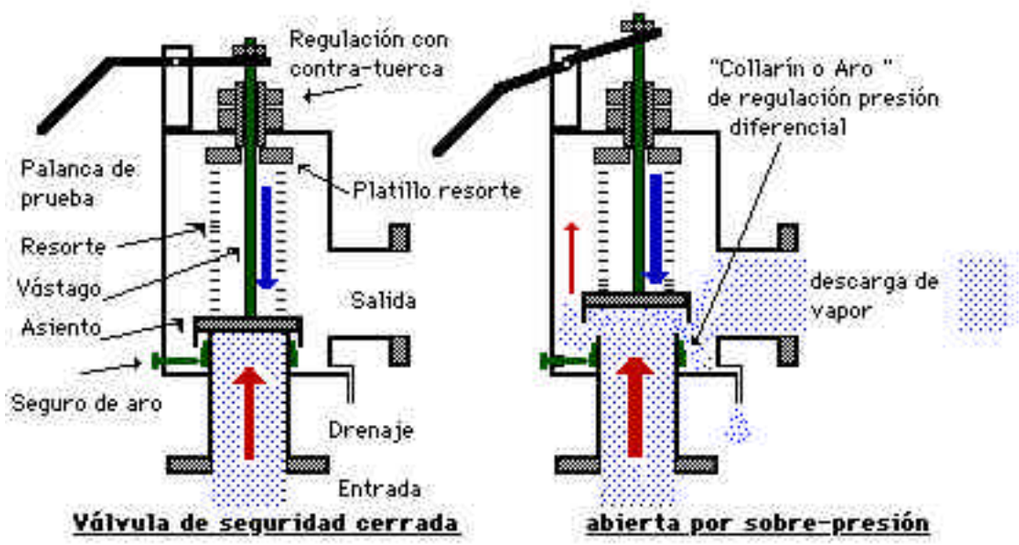
Si ajustamos el cierre diferencial al mínimo, en una caldera a leña, este valor difícilmente se logre bajar a menos de 1 Kg/cm2,

**La solución a este problema, para no "tirar" vapor a la atmósfera en exceso, es la instalación de una válvula de alivio** (la válvula de alivio tiene un comportamiento diferente, **abre a la presión que se ajusta y cierra prácticamente a la misma presión, por ello no se utilizan como válvulas de seguridad en calderas**, dado que la apertura es proporcional a la presión, lo cual hace que la caldera pueda subir demasiado la presión, cosa que la válvula de seguridad con la apertura total no lo permite).

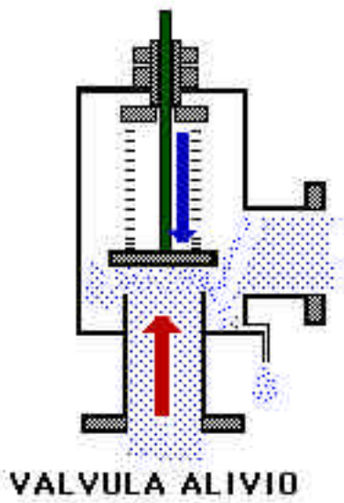
**Esta válvula de alivio, instalada sobre la distribución o colector de vapor, abre los suficiente para aliviar el exceso momentáneo de la presión, evitando tirar grandes cantidades de vapor** (si la presión sigue subiendo, abrirían las válvulas de seguridad).

**Esta válvula de alivio, de una dimensión mediana, capaz de tirar un 5% al 10% de la producción de vapor, como máximo, por lo general es suficiente, para limitar la presión** (con la ventaja que las válvulas de seguridad no están permanentemente disparando y con ello además entrando en pérdida por este mismo exceso de operación, al "rayarse" asientos). **Además, si se abren las válvulas de seguridad, la caída necesaria para lograr cerrar las válvulas de seguridad afectan la presión de vapor, que hace que los procesos en fábrica sufran alteraciones no deseables.**

**Esta misma válvula de alivio, se le puede poner una válvula de corte, para poder cambiarla o hacerle mantenimiento en marcha** (cosa que no se puede hacer con una válvula de seguridad).




En la figura anterior se muestra una válvula de seguridad en operación y se muestra la forma del asiento y del aro de regulación que permite que la válvula tenga una apertura total y un cierre diferencial. Las válvulas de alivio, tienen el asiento plano, no hay aro de regulación de cierre, la válvula abre y cierra prácticamente a la misma presión y la apertura es proporcional a la presión ejercida sobre el asiento.



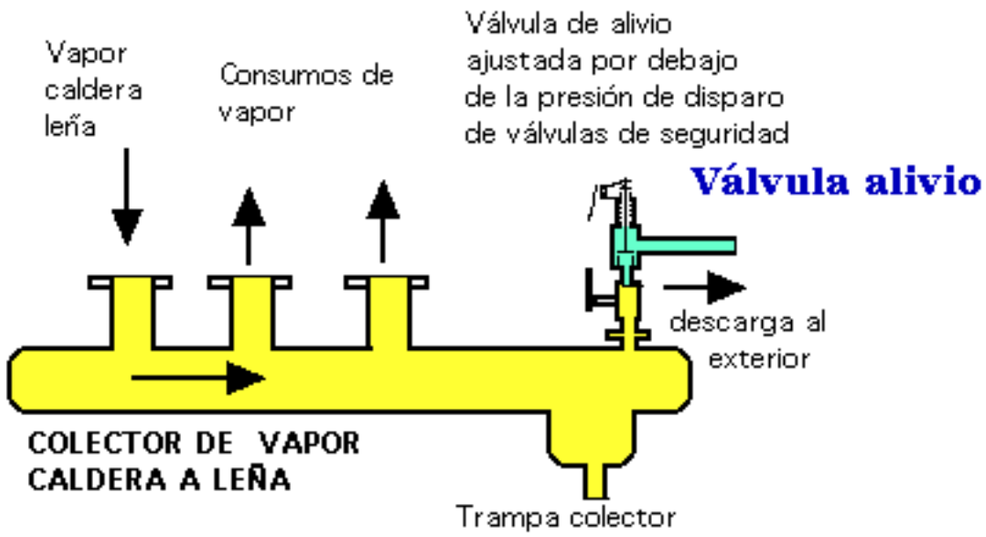

Observar la diferencia constructiva de esta válvula de alivio respecto a las válvulas de seguridad para caldera.

**Veamos como instalar una válvula de alivio en el colector de vapor:**

La descarga de la válvula de alivio, se conecta al exterior, en una zona libre de peligro, con la cañería bien afirmada y libre de "bolsas" de condensado, para evitar posibles golpes al descargar. La dimensión de esta válvula, está en relación a la capacidad de combustión de la caldera, conviene que no sea de una gran capacidad, ya de que se trata solamente de evitar que suba la presión progresivamente y abra las válvulas de seguridad (que si esto ocurre, se tirará una gran cantidad de vapor, innecesariamente, si existe esta válvula de alivio auxiliar y la presión no se alterará por baja presión). La válvula de corte, entre la válvula de alivio y el colector de vapor, nos permite cambiar la válvula de alivio o repararla (esta válvula de alivio puede ser de asiento de cromo-niquel, ya que su trabajo será de pequeñas aperturas, que tienden a desgastar las superficies de los asientos).

También se puede instalar más de una válvula de alivio, de manera de hacer un ajuste progresivo, de 2 escalones, para evitar de poner válvulas con gran asiento, que tiende a "rallarse".

**En calderas a leña, es un buen negocio poner una válvula de alivio en el colector: abre primero que las de seguridad, si la presión no puede ser dominada, abren las válvulas de seguridad.**


Vapor caldera leña
Consumos de vapor
Válvula de alivio ajustada por debajo de la presión de disparo de válvulas de seguridad
Válvula alivio
descarga al exterior
COLECTOR DE VAPOR CALDERA A LEÑA
Trampa colector